



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenl gungsschrift**
①0 **DE 41 35 258 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 L 29/91
H 01 L 21/329
// H03K 17/74

②1 Aktenzeichen: P 41 35 258.0
②2 Anmeldetag: 25. 10. 91
④3 Offenlegungstag: 29. 4. 93

DE 41 35 258 A 1

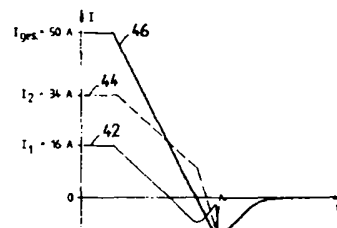
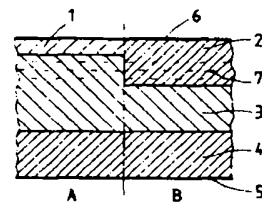
⑦1 Anmelder:
Semikron Elektronik GmbH, 8500 Nürnberg, DE

⑦2 Erfinder:
Tursky, Werner, Dr., 8540 Schwabach, DE; Lutz,
Josef, 8500 Nürnberg, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Schnelle Leistungsdiode**

⑤7 Es wird eine schnelle Leistungsdiode beschrieben, die für den Einsatz als Freilaufdiode in Kommutierungszweigen geeignet ist. Diese Diode besteht in sich aus zwei Diodenteilflächen, einer Teilfläche (A) mit soft-recovery-Verhalten und einer Teilfläche (B) mit schnappigem Schaltverhalten, die aber als Einheit ein soft-recovery-Verhalten mit wesentlich geringeren Schaltverlusten zeigt. Durch eine solche Diode ist es möglich, die Durchlaßverluste und die Schaltverluste zu entkoppeln und diese beiden Parameter technologisch getrennt voneinander zu optimieren. So ist es möglich, die Schaltverluste in vorteilhafter Weise wesentlich zu reduzieren (Figuren 3a und 6).



DE 41 35 258 A 1

Die Erfindung betrifft eine schnelle Leistungsdiode mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 1.

In Schaltkreisen mit induktiver Last ist eine sog. Freilaufdiode schaltungsgerecht beigeordnet. Durch immer höhere Leistungsfähigkeit der schaltenden Bauelemente wachsen auch die Forderungen an die Freilaufdiode. Neben der Sperrspannungsbelastbarkeit, einem niedrigen Durchlaßspannungsabfall und geringem Rückstrom wird ein weiches, sog. soft-recovery-Verhalten, gefordert, eine dem dynamischen Verhalten der Diode zugeordnete Eigenschaft, welche das Ausräumen des Plasmas von Ladungsträgern aus dem Halbleiterkörper beim Umschalten aus der Durchlaßphase in die Sperrphase betrifft.

Beim weichen Recovery-Verhalten klingt der Rückstrom im wesentlichen sanft ab, ohne daß durch ihn unerwünschte Überspannungen in der Schaltung entstehen, während bei einer Diode mit hartem (sog. snap-pigen) Schaltverhalten hohe Spannungen induziert werden können. Die Maßnahmen zur Erzielung des soft-recovery-Verhaltens führen aber zu erhöhtem Durchlaßspannungsabfall, was zu Schaltverlusten führt.

Zur Gestaltung guter Einsatzzeigenschaften der Freilaufdiode sind verschiedentlich in der Literatur Verfahren beschrieben, die gegenläufigen Eigenschaften zu optimieren. Es ist bekannt, daß das Recovery-Verhalten durch Dotierung und Bemessung der hochohmigen Mittelschicht der Dreischichtstruktur des Halbleiterkörpers beeinflußt wird. Weiter ist bekannt, daß zur Einstellung der lokalen Trägerlebensdauer und damit zur Beeinflussung des Schaltverhaltens im Sinne einer Veränderung des Recovery-Verhaltens eine Protonenbestrahlung und/oder Bestrahlung mit Helium-Kernen anwendbar ist.

Ein Verfahren zur Herstellung einer vorzüglich für den hier beschriebenen Einsatz ausgebildeten schnellen Diode wird in DE-OS 38 23 795 beschrieben. Hier wird durch Veränderung der Emitterzone ein optimales Ergebnis bezüglich des Recovery-Verhaltens erzielt, die Dotierungskonzentration mit p-Dotanten wird hier entsprechend verändert.

In DE-OS 36 31 136 ist eine andere Methode mit ähnlichem Wirkungseffekt gewählt, hier wird die Raumladungszone bei maximaler Sperrspannung bis nahe an die Emitterstruktur erstreckt.

In DE-OS 36 33 161 wird eine zur Kommutierung geeignete schnelle Leistungsdiode beschrieben, wobei insbesondere die Verbesserung des Recovery-Verhaltens Aufgabenstellung ist. Hier wird durch den Einbau von Defektelektroden auf der anodenseitigen p-Zone das gewünschte weiche Verhalten erzielt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die Vorteile eines guten Durchlaßspannungsabfalles der Diode mit der des soft-recovery-Verhaltens zu verbinden und dabei eine Erniedrigung des Rückstromes bzw. der Sperrverzögerungsladung zu erreichen.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Die durch die Erfindung erzielten Vorteile bestehen darin, daß in jeder Diode zwei Bereiche (A und B) unterschiedlichen Verhaltens gegeben sind.

In einem Teilbereich (A) ist ein soft-recovery-Verhalten ausgebildet, während der andere Teilbezirk (B) ein schnappiges Verhalten aufweist. Der erstgenannte Teilbe-

zirk (A) ist auf ein weiches Recovery-Verhalten optimiert, er trägt nur einen geringen Teil des Vorwärtsstromes. Der Teilbezirk (B) mit dem schnappigen Verhalten ist auf niedrigen Durchlaßspannungsabfall optimiert, er trägt den großen Anteil des Vorwärtsstromes. Durch das parallele Arbeiten der beiden Teilbezirke in der schnellen Leistungsdiode nach der Erfindung teilen sich nicht nur die Schaltungsverluste auf, sondern es ergeben sich insgesamt wesentlich niedrigere Schaltverluste als bei vergleichbaren Freilaufdioden.

Bei der erfindungsgemäßen schnellen Leistungsdiode kann der Teilbezirk (A) mit dem soft-recovery-Verhalten eine breite n^- -Zone besitzen und eine niedrige Dotierung des p^+ -Emitters haben. Es kann dieser Teilbezirk (A) auch durch Bestrahlen in seinem soften Verhalten eingestellt werden. Dieser Teilbezirk trägt weniger als ein Drittel des Vorwärtsstromes der gesamten Diode.

Der zweite Teilbezirk (B) mit dem schnappigen Verhalten kann einer schnellen pin-Diode gleichartig sein. Hier ist eine schmale n^- -Zone denkbar, die Dotierung der Außenzonen ist auf optimalen Durchlaßspannungsabfall eingestellt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 7 näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine mögliche Realisierungsform der Erfindung, hier ist ein Querschnitt durch den Halbleiterkörper im Ausschnitt an der Grenze der Teilbezirke (A und B) dargestellt.

Fig. 2 zeigt eine andere Erfindungsvariante, es sind hier die Rekombinationszentren und Niveaus der Trägerlebensdauer veranschaulicht.

Fig. 3 zeigt in seinen drei Teilbildern weitere Varianten von Ausführungsbeispielen der Erfindung.

Fig. 4 zeigt das Schaltbild einer möglichen Meßschaltung.

Fig. 5 stellt Kurvenverläufe von Parametern der beiden Einzeldioden und der erfindungsgemäßen Diode dar.

Fig. 6 zeigt in Kurvenform den Verlauf des Gesamtstromes und der Teilströme in den beiden Teilbereichen (A und B) bei der Kommutierung.

Fig. 7 ist ein Ausschnitt aus Fig. 6 und stellt den Verlauf des Stromes in den beiden Teilbereichen (A und B) dar.

In Fig. 1 ist in vergrößerter aber nicht maßstabsge-rechter Darstellung ein Ausschnitt einer Diode im Querschnitt seines Halbleiterkörpers skizziert. Der Ausschnitt zeigt in idealisierter Weise die Grenze zwischen beiden Diodenteilflächen.

Die Teilfläche (A) besitzt das soft-recovery-Verhalten, das hier in der Hauptsache durch eine größere Weite der n^- -Zone (3) erreicht wird. Die p-Dotierung (1) in dieser Teilfläche kann niedrig und mit einer geringen Eindringtiefe versehen sein, auch ist in diesem Teil ein abrupter pn-Übergang vorteilhaft.

Die Teilfläche (B) weist durch eine dünnere n^- -Zone (3) einen niedrigen Durchlaßspannungsabfall aus. Das p-Gebiet (2) wird vorteilhaft hoch dotiert (p^+) und kann zusätzlich mit einem flachen Gradienten des Dotierprofils am pn-Übergang versehen sein, wodurch die Sperrspannung erhöht wird.

Die Mittelzone des Halbleiterkörpers (3) ist vom n-Typ und niedrig dotiert. Ihre Weite ist für die Höhe der Sperrspannung entscheidend. Wird aber in der Teilfläche (B) der Gradient des Dotierprofils flach ausgebildet, kann hier die Sperrspannung erhöht werden. Die unterschiedliche Weite der Schicht mit der n^- -Grund-

dotierung (3) in den Teilflächen (A mit größerer Weite und B mit kleinerer Weite) führt dazu, daß der Teilbereich (B) den größten Teil des Vorwärtstromes trägt, aber ein schnappiges Schaltverhalten aufweist. Der Bereich (A) dagegen weist ein softes Schaltverhalten auf. Durch eine n^+ -Diffusion wird die erste Außenzone (4) hochdotiert, was eine Getterwirkung hat und zur Verbesserung des Weichheitsfaktors führt, also die geforderten Eigenschaften der schnellen Leistungsdiode verstärkt. Zur elektrischen Verbindung zu äußeren Anschlußelementen sind beide Diodenflächen (5, 6) metallisiert.

Fig. 2 zeigt eine mögliche weitere Ausführungsform der Erfindung. Dabei ist durch Bestrahlung mit Protonen oder Helium-Kernen lokal nur im Bereich (7) der Teilfläche (A) die Trägerlebensdauer τ herabgesetzt. Das vertikale Profil der Trägerlebensdauer τ in der Zone (3) der Teilfläche (A) ist schematisch in Fig. 2b veranschaulicht. Dies führt zu einem soften Schaltverhalten der Diodenstruktur der Teilfläche (A). In der Teilfläche (B) dagegen ist eine im wesentlichen homogene Verteilung der Rekombinationszentren gegeben (Fig. 2c). Dabei kann es vorteilhaft sein, die Trägerlebensdauer τ in der Teilfläche (B) kleiner zu wählen, als in der Teilfläche (A) im Bereich der n^- -Zone (3) in der Nähe des n/n^+ -Übergangsgebietes.

Die Trägerlebensdauer der Teilfläche (B) ist beispielsweise durch Elektronenbestrahlung eingestellt, was bekanntlich zu einem homogenen Trägerlebensdauerprofil, aber gleichzeitig schnappigem Schaltverhalten führt. Diese unterschiedlichen Teilvolumina bezüglich der Trägerlebensdauer sind über entsprechende Absorbermasken mit Hilfe der Bestrahlungstechnologie herstellbar.

In Fig. 3 sind weitere Ausführungsformen der Erfindung dargestellt, wobei die Maßnahmen, wie sie zu in Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsformen führten, kombiniert wurden. In Fig. 3a ist durch das ganzflächige Einbringen von zusätzlichen Rekombinationszentren (7) mittels Protonenbestrahlung oder Helium-Kern-Beschuß über die gesamte Diodenfläche die Trägerlebensdauer partiell herabgesetzt. Wird diese Bestrahlung so dimensioniert, daß die zusätzlichen Rekombinationszentren in der Teilfläche (A) nahe dem pn-Übergang liegen, so kann das weiche Recovery-Verhalten positiv beeinflusst werden. Während die bestrahlten Volumina in der Teilfläche (A) in dem Bereich der n^- -Zone (3) liegen, also beispielhaft in einer Tiefe zwischen 12 μm und 40 μm , liegt das bestrahlte Feld in der Teilfläche (B) in der p^+ -Zone (2), also in einem Gebiet, in dem die dadurch gesenkte Trägerlebensdauer keine nennenswerten Parameteränderungen bewirkt, denn in diesem Gebiet existiert bereits durch die vorhergehende Diffusion eine sehr hohe Störstellendichte.

In Fig. 3b ist die Gesamtdicke des Halbleiterkörpers in der Teilfläche (A) größer als in der Teilfläche (B). Das Einbringen der Rekombinationszentren durch Bestrahlung mit Protonen oder Helium-Kernen ist dargestellt, so daß in der Teilfläche (A) die Rekombinationszentren (7) in der Nähe des pn-Übergangs angeordnet sind, in der Teilfläche (B) dagegen der größere Teil der Zone (3) ausgefüllt ist. Dadurch entsteht in der Teilfläche (A) ein softes und in der Teilfläche (B) ein schnappiges Schaltverhalten. Die Herstellung sieht technologisch einen selektiven Ätzschritt des Halbleiterkörpers vor der Erzeugung der p-Zone (2) vor. Alle weiteren Prozesse können ganzflächig durchgeführt werden. Damit wird die Herstellung dieser Struktur mit dem geringsten technologi-

schen Aufwand erreicht.

In Fig. 3b ist die selektive Ätzung auf der Seite der später auszubildenden Anodenzone (2) durchgeführt, in Fig. 3c ist diese auf der Seite der später auszubildenden Kathode erfolgt.

Optimiert werden die Parameterverteilungen durch die Kombination der Maßnahmen, wie sie in der Fig. 3 dargestellt und bereits beschrieben wurden. Werden die Teilflächen (A) und (B) vervielfacht, indem die Einzelteilflächen verkleinert werden und somit in einer Diodenfläche ein Vielfaches von diesen Teilflächen Platz findet, so ergibt sich eine weitere vorteilhafte Verbesserung des Verhaltens der Zielparameter. Die Aufteilung des Gesamtstromes auf die Teilflächen kann durch die Flächenrelation der Teilflächen (A) zu (B) in der gewünschten Weise eingestellt werden. Auch durch den Einbau von entsprechenden Vorwiderständen ist eine Stromaufteilung in gewünschtem Sinne einstellbar. Vorteilhaft ist z. B. eine Aufteilung des Gesamtstromes zu weniger als ein Drittel im Bereich der Teilfläche (A), also im Bereich mit weichem Rückstromabklingen bei der Kommutierung.

Fig. 4 zeigt ein Schaltbild für die Freilaufdioden zur Messung der erzielten Parameter. Die beiden Teilflächen (A gleich 12 und B gleich 14) sind hier als zwei parallel geschaltete Dioden dargestellt. Mit dieser so dargestellten Diode ist eine Konstantstromquelle (16) und eine Konstantspannungsquelle (18) verbunden. Zwischen Konstantspannungsquelle (18) und Freilaufdiode (12, 14) ist eine induktive bzw. gemischt ohmsch-induktive Last (20) und ein Schalter (22) vorgesehen. Die dargestellte Diode (12) ist die Diodenteilfläche (A) mit dem soft-recovery-Verhalten. Die dargestellte Diode (14) ist die Diodenteilfläche (B) mit dem schnappen Verhalten, dieser Teil ist auf niedrigen Durchlaßspannungsabfall und schnelles Schalten optimiert.

In Fig. 5 sind die gemessenen Werte der einzelnen Teilflächen und der kombinierten Diode dargestellt. Dabei zeigt Fig. 5a den zeitlichen Ablauf entscheidender Parameter der Diode, die nur aus dem Teilbereich (A) besteht. Mit der Kurve (24) wird der Verlauf des zeitlichen Stromflusses beim Abschalten in der Teilfläche (A) dargestellt. Der Verlauf der Kurve (26) gibt den gleichzeitigen Spannungsabfall wieder. Die bei diesem Schaltvorgang auftretenden Schaltverluste sind in Kurve (28) dargestellt.

Fig. 5b zeigt die analogen Kurvenverläufe in einer Diode, die nur aus der Teilfläche (B) besteht, in vergleichbarem Maßstab. Die Kurve (30) gibt hier den zeitlichen Verlauf des Stromflusses an, die Kurve (32) den Verlauf der Spannung und die Kurve (34) stellt die Verlustleistung in ihrem zeitlichen Verlauf dar. Das schnappige Verhalten der Diode entsprechend der Teilfläche (B) in Fig. 5b ist deutlich anders, als das in Fig. 5a dargestellte Verhalten der soft arbeitenden Diode entsprechend dem Teilbereich (A).

In Fig. 5c ist der analoge Kurvenverlauf dargestellt, wie er bei dem Zusammenwirken beider Diodenteile erscheint. Kurve (36) zeigt den Verlauf des Stromes über die Zeit, Kurve (38) den Spannungsabfall in der gleichen zeitlichen Folge und Kurve (40) gibt die auftretende Verlustleistung an. Aus Fig. 5c ist zu erkennen, daß die erfindungsgemäße Diode als Gesamtheit den Effekt einer soft arbeitenden Diode mit einer im Vergleich zu Fig. 5a (Teilfläche A) wesentlich kleineren Verlustleistung besitzt.

Fig. 6 zeigt die Aufteilung der elektrischen Ströme auf die beiden Diodenflächen (A) und (B) bzw. 12 und 14

der Fig. 4. Dabei gibt die Kurve (42) den zeitlichen Verlauf des Stromflusses in dem soft arbeitenden Diodenteil (Teilfläche A) an, während die Kurve (44) den in der Teilfläche (B) widerspiegelt. In Kurve (46) ist endlich der Verlauf des Stromes in der erfindungsgemäßen Diode ersichtlich. Der Stromverlauf der Kurve (46) aus Fig. 6 entspricht dem der Kurve (36) der Fig. 5c.

In Fig. 7 ist der Maßstab vergrößert, um die Teilzeiten des Schaltvorganges besser zu erkennen. Dargestellt sind hier die Stromverläufe in den beiden Teilflächen im Parallelbetrieb in der Phase der Kommutierung. Dabei gibt die Kurve (48) den zeitlichen Verlauf in dem soft arbeitenden Diodenteil (A) und die Kurve (50) den Strom in dem snappigen Diodenteil (B) an. Zunächst wird der Strom in jeder der beiden Teilflächen mit 50 A/μs kommutiert. Kurve (48 — Teilfläche A) erreicht zuerst den Rückstromwendepunkt zum Zeitpunkt t_1 . Zu diesem Zeitpunkt ist die Teilfläche (A) der Diode bereit, Spannung aufzunehmen, wird aber durch den noch vorhandenen Stromfluß in Durchlaßrichtung in der anderen Teilfläche (B) daran gehindert. Das bedingt aber einen steileren Stromabfluß aus der Teilfläche (B) der Diode, wie das in Kurve (50) ab dem Zeitpunkt t_1 ersichtlich ist. Bis zum Zeitpunkt t_2 wird nun der Strom im Diodenteil (B) steil kommutiert, dabei klingt der Rückstrom in dem Teilbereich (A) der Diode bereits ab. In der Teilfläche (A) geht der Rückstrom um den Betrag zurück, der von der zweiten Teilfläche (B) übernommen wird. Zum Zeitpunkt t_2 ist der Diodenteil (B) frei von Überschußladungsträgern am pn-Übergang. Der Gesamtstrom der Diode ist während dieser Zeitspanne durch die äußere Schaltung aufgeprägt. Nach dem Zeitpunkt t_2 zeigt der Diodenteil (B) einen scharfen Rückstromabfluß. Das bewirkt jedoch nur eine Verlagerung des elektrischen Stromes in die andere Diodenteilfläche (A), die noch genügend Ladungsträger enthält. Zum Zeitpunkt t_3 ist die Diodenteilfläche (B) bereits ausgeräumt, es tritt keine durch einen Stromabfluß erzeugte Überspannung auf, da der Gesamtstrom nicht abreißt. Die ansteigende Spannung bewirkt in der Diodenteilfläche (A) ein Ausräumen der restlichen Ladungsträger. Dieser Verlauf ist bis zum Zeitpunkt t_4 durch ein weiches Recovery-Verhalten bestimmt.

Durch diskreten Aufbau der Diodenteilflächen als separate Dioden wurde herausgefunden, daß die Sperrverzögerungsladung Q_{RR} der parallelgeschalteten Diodenteilflächen um mehr als die Hälfte gegenüber der der separaten Diodenteilfläche (A) reduziert ist. Das wirkt sich direkt auf die Schaltverluste vorteilhaft aus, sie betragen vergleichsweise zu einer soft-recovery-Diode nur ca. 40%.

Patentansprüche

1. Schnelle Leistungsdioden mit einem Halbleiterkörper,
 - der eine Folge schichtförmiger Zonen aufweist, von welchen die hochohmige, mittlere Zone (3) einen ersten Leitungstyp besitzt,
 - der an der einen Seite mit einer hochdotierten, ersten Außenzone vom ersten Leitungstyp (4) versehen ist und
 - der an der anderen Seite mit einer zweiten Außenzone (1, 2) vom zweiten Leitungstyp einen pn-Übergang einschließt und
 - bei dem die mittlere Zone (3) durch Wahl der Dicke und Dotierkonzentration die definierte Sperrspannungsbelastbarkeit aufweist,

dadurch gekennzeichnet, daß

die eine von zwei unterschiedlichen Diodenteilflächen (Teilfläche A) in ihren Eigenschaften auf soft-recovery-Verhalten optimiert ist und die andere Diodenteilfläche (Teilfläche B) ein snappiges Verhalten besitzt.

2. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die anodenseitige Dotierung der Diode uneinheitlich

— in der Teilfläche (A) wenig dotiert und/oder mit geringer Eindringtiefe (1) und/oder abruptem pn-Übergang,

— in der Teilfläche (B) hoch dotiert und/oder mit größerer Eindringtiefe (2) und/oder flachem Gradienten des Dotierprofils am pn-Übergang ausgebildet ist.

3. Schnelle Leistungsdioden nach Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerlebensdauer in der Teilfläche (A) in der Zone (3) mit der Grunddotierung uneinheitlich in unterschiedlichen Tiefen des Halbleiterkörpers ist, in der Nähe des pn-Überganges (Grenzfläche 1 zu 3) kleiner und in der Nähe des Überganges der Schichtfolge (3) zu (4) größer.

4. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Trägerlebensdauer in der Zone (3) der Teilfläche (B) kleiner ist, als die Trägerlebensdauer in der Zone (3) der Teilfläche (A) in der Nähe der Grenzschicht (3) zu (4).

5. Schnelle Leistungsdioden nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilflächen (A) und (B) mehrfach in jeder Diode ausgebildet sind.

6. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die vorhandenen Teilflächen (A) und (B) mit Hilfe von Masken verfahrenstechnisch ausgebildet wurden.

7. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzliche Rekombinationszentren (7) in der Nähe des pn-Überganges in der Teilfläche (A) durch partielles Bestrahlen mit Protonen oder Heliumkernen gebildet wurden.

8. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilflächen (A) und (B) zu einander so dimensioniert sind, daß der sich bezüglich des Schaltverhaltens weiche Teil (A) weniger als ein Drittel des Gesamtstromes auch im Falle steiler Kommutierung als Freilaufdiode trägt.

9. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß durch Einbau eines Vorwiderstandes die Stromaufteilung zwischen den Diodenteilflächen (A) und (B) eingestellt wurde.

10. Schnelle Leistungsdioden nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Teil der Diode mit snappigem Schaltverhalten (Teilfläche B) auf einen niedrigen Durchlaßspannungsabfall optimiert wurde.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

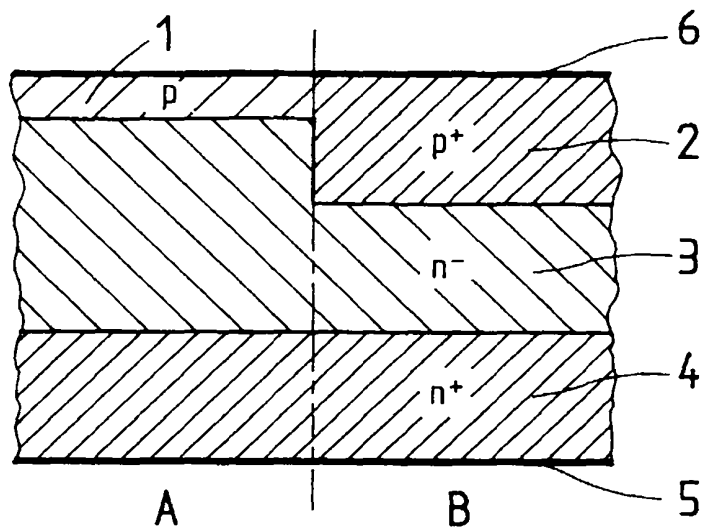


Fig. 1

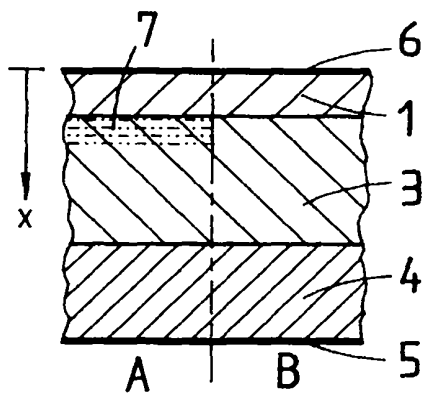


Fig. 2a

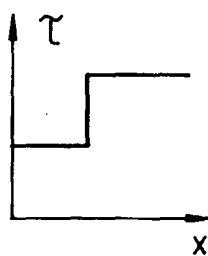


Fig. 2b

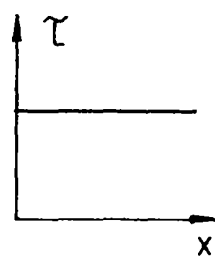


Fig. 2c

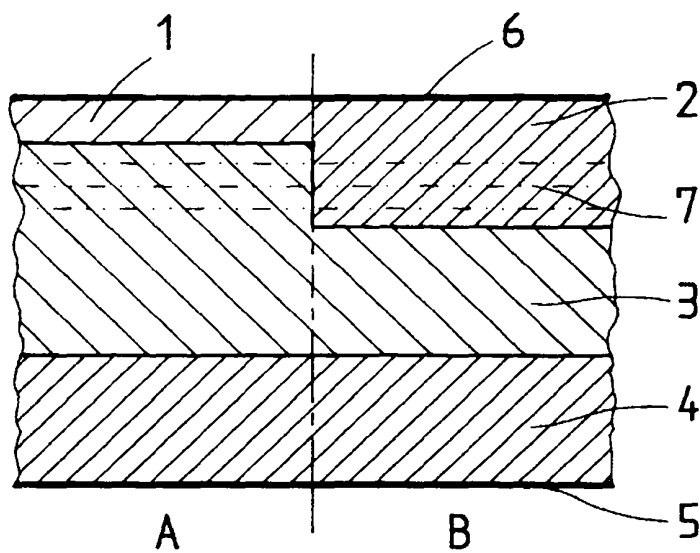


Fig. 3 a

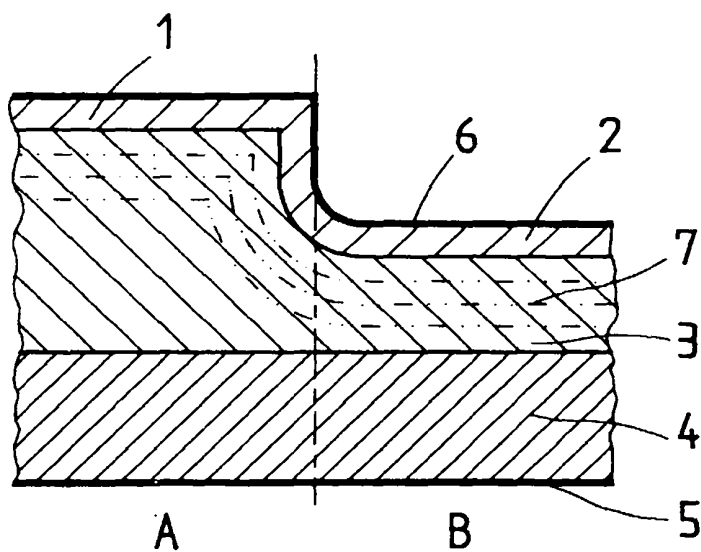


Fig. 3 b

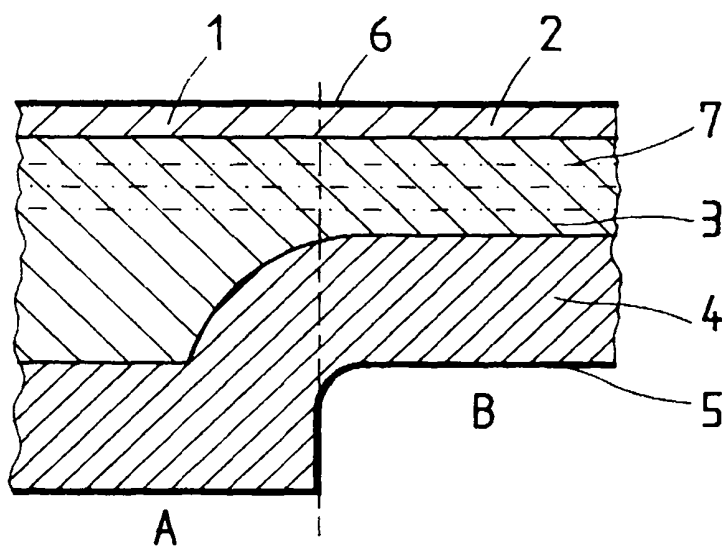


Fig. 3c

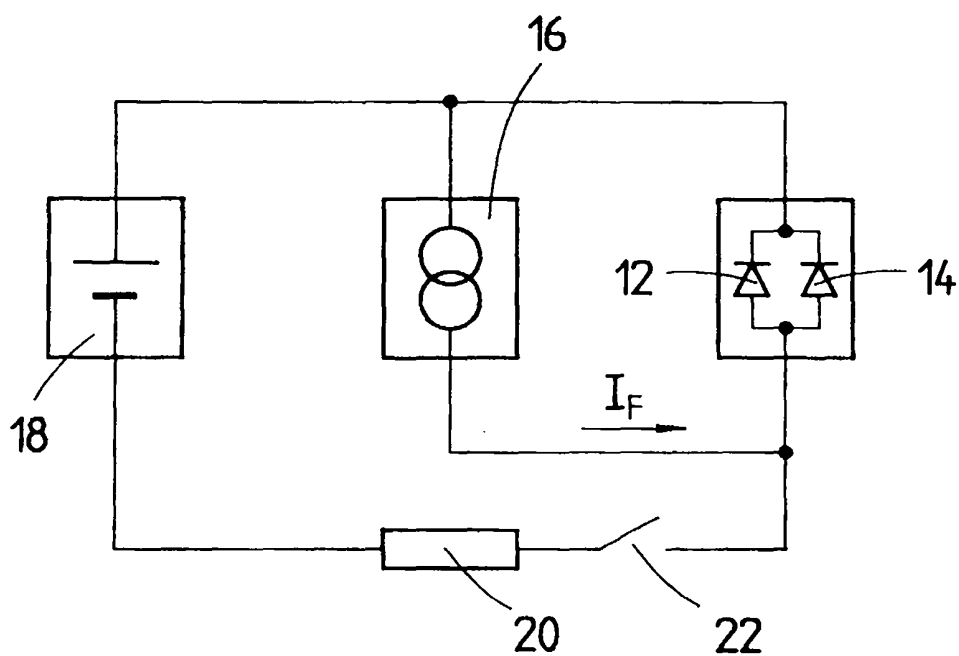


Fig. 4

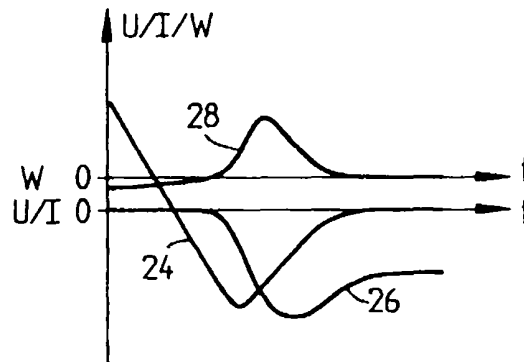


Fig. 5a

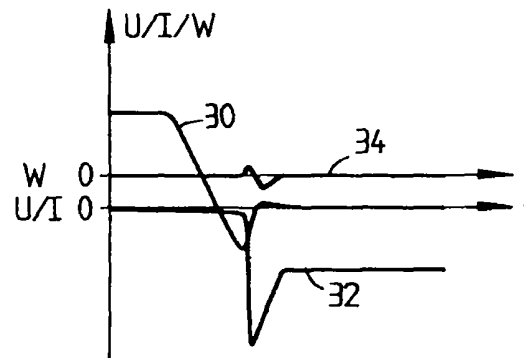


Fig. 5b

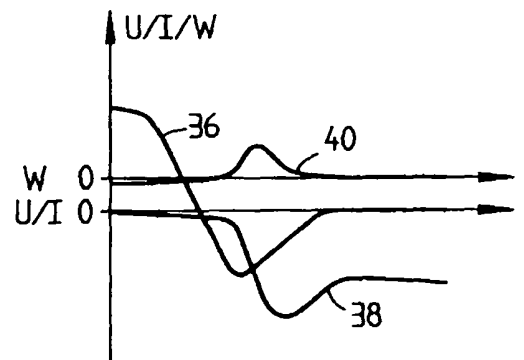


Fig. 5c

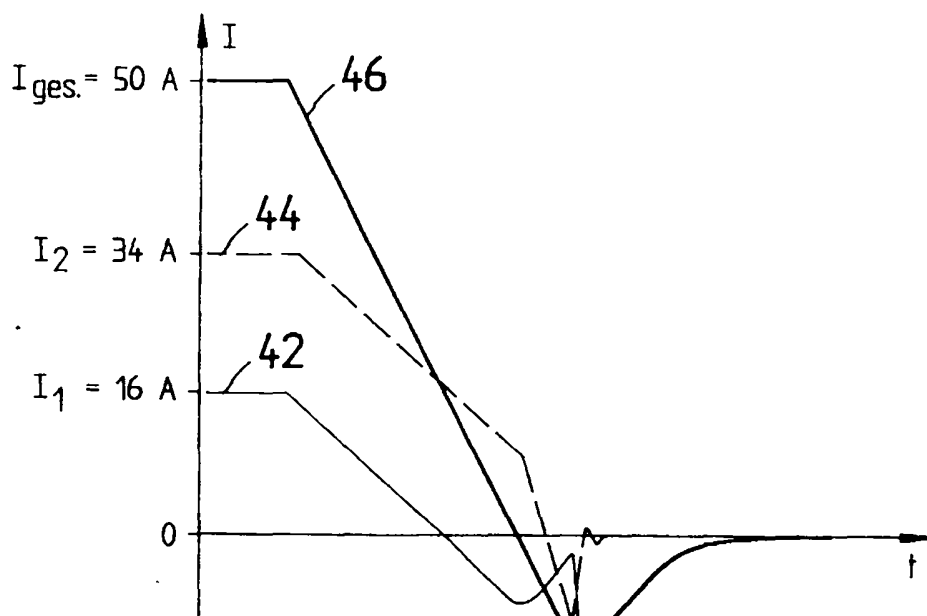


Fig. 6

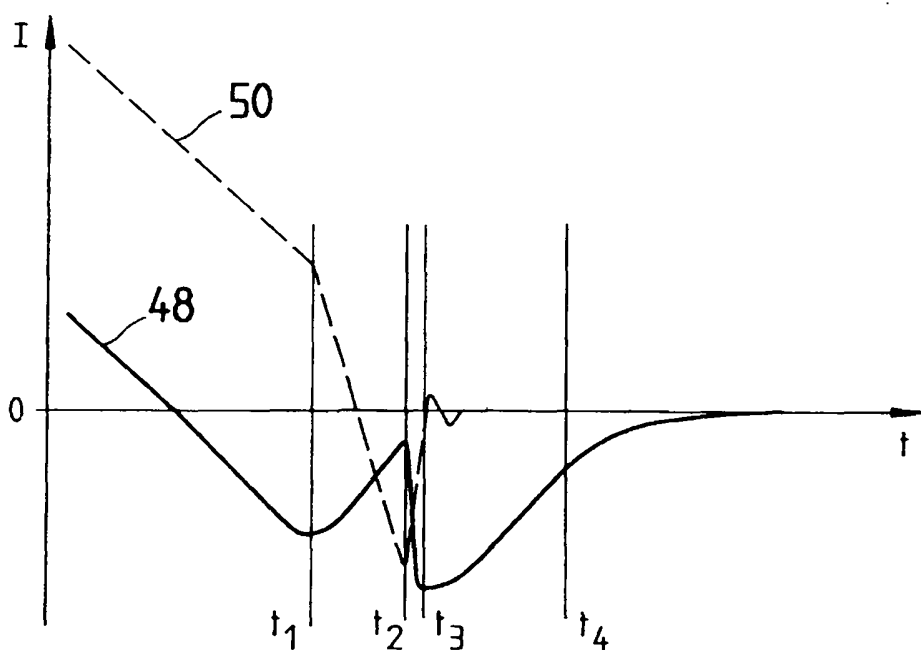


Fig. 7